

## 牽引位置決め装置

### 背景技術

#### 1) 技術分野

- 5       本発明は、牽引位置決め装置に係り、特に電動内視鏡やロボットハンド等の電動牽引機構の被牽引機構をワイヤ等の牽引部材によって湾曲または回転させる牽引位置決め装置に好適なものである。

#### 2) 関連技術

- 10       電動内視鏡やロボットハンド等のように、モータ等の駆動手段を駆動することによって、ワイヤ等の牽引部材を牽引して、先端部を湾曲もしくは回転させる電動牽引機構が広く知られている。この電動牽引機構は、一般的に大きくて重い駆動手段をワイヤ等の牽引部材を介して先端部から離して設けることができるため、先端部の被牽引機構を小型軽量化できるという利点がある。

- 15       しかし、この電動牽引機構は、湾曲もしくは回転させる方向の牽引部材に弛みが生じていると、その弛みが解消されるまでは先端部の被牽引機構が応答しなくなるという問題がある。

- このワイヤの弛みを制御する従来の内視鏡として、特開2000-300511号公報に開示されているように、湾曲部を有する可撓管と、可撓管に配設されて湾曲部の湾曲操作を行なうワイヤと、ワイヤを駆動する駆動手段と、ワイヤの基準位置からの変位を検出する変位検出手段と、ワイヤの変位方向を検出する変位方向検出手段と、変位検出手段及び変位方向検出手段の出力を用いてワイヤの弛みを制御する弛み制御手段とを具備するものがある。この従来技術には、ワイヤの張力を検出する張力検出手段を更に備え、張力検出手段と変位検出手段と変位方向検出手段の出力を用いてワイヤの弛みを制御する弛み制御手段とするもの
- 25       も開示されている。

そして、この従来技術には、弛みの状態を推定するのに、ワイヤの変位情報及び変位方向情報を用いて推定することや、張力検出手段で検出したワイヤの張力を用いて推定することが開示されている。また、具体的な弛み制御方法に関しては、両方のワイヤに弛みがなく且つ湾曲部も屈曲していない初期状態（中立基準位置）から可撓管を一方に湾曲させるように駆動手段を駆動した際に、押し出される側のワイヤに弛みが発生し、駆動手段を他方に反転して駆動した際に弛みのあるワイヤによって可撓管を他方に直ぐに湾曲をさせられない場合を推定して、反転した後の駆動手段の駆動速度を反転直後に速い速度とすると共に後半に通常

- 6 5 10 15 20
- しかし、従来技術には、中立基準位置で両方のワイヤに弛みを有すると共に可撓管やワイヤ等が湾曲した状態から元の状態にある程度まで復元しようとする性質を有する牽引位置決め装置において、中立基準位置におけるワイヤの弛みを制御することに関しては開示されていない。

また、一般に、内視鏡が設けられた湾曲部を駆動するに際しては、例えば、特公昭63-59329号公報に記載されているように、内視鏡挿入部の先端側に設けられた湾曲部にワイヤを接続し、このワイヤを電動モータの駆動力によって牽引することによって、湾曲部を上下／左右に湾曲させるようにしたものがある。この電動モータを駆動するに際しては、操作部に設けられた操作レバーからの操作量に比例して電動モータを駆動するモータ駆動回路が採用されている。この場合、電動モータによって牽引ワイヤを牽引して湾曲部を上下あるいは左右方向に移動させることで、湾曲部の湾曲角を設定できるようになっている。

この従来技術は、操作レバーに取り付けられた歪みゲージなどを用いて操作量を検出し、検出された操作量にしたがった電圧を直接モータに印加する構成になっているため、操作レバーの操作量に比例して電動モータを駆動することはできるが、牽引ワイヤと牽引ワイヤをガイドするためのコイルシース内面との摩擦や、牽引ワイヤの弛みなどについて十分配慮されておらず、操作量と湾曲部先端の

湾曲量とが対応せず、観察者（内視鏡操作者）の操作性を高めるには十分ではない。

また、特開平6-22904号公報には、内視鏡挿入部の先端側に設けられている湾曲部に牽引用ワイヤを取り付け、この牽引用ワイヤを、操作部に設けられた中継プーリを介してユニバーサルコード内を通し、牽引用ワイヤを電動モータの駆動力によって牽引するようにしたものが記載されている。さらにこの公報には、操作部に設けたプーリの回転角と電動モータの回転角とを比較することで、牽引ワイヤの弛緩状態を検出し、牽引ワイヤが弛緩状態にあるときには電動モータを最高速度で回転させて、牽引ワイヤの弛みを瞬時に解除する手法が示されている。

この従来技術は、操作性向上のために、モータと中継プーリとの間のユニバーサルコードにおいて発生するワイヤの弛みを解除する手法を採用しているが、操作部に設けた中継プーリから先の内視鏡挿入部の牽引ワイヤに発生する弛みや摩擦について配慮されていないとともに、中継プーリが存在しない場合についての弛みの解除についても配慮されておらず、操作性を高めるには十分ではない。

#### 発明の開示

本発明は、操作対象の湾曲位置を操作指令値に瞬値に追従させることができ、特に中立基準位置で両方の牽引手段に弛みが生じていても中立基準位置での弛み制御を可能として被牽引機構を素早く正確に位置決めできる牽引位置決め装置を提供することを目的とする。

上述した課題を解決し、目的を達成するため、本発明は、湾曲自在又は回転自在に形成された被牽引機構を有する操作対象を牽引して湾曲又は回転させる牽引手段と、前記牽引手段への駆動力を発生する駆動手段と、操作手段によって入力された目標値に対応し、且つ前記駆動手段によって前記牽引手段を駆動させる制御をするための制御信号を前記駆動手段に出力する制御手段と、を備え、前記制御手段は、前記牽引手段による牽引をする前の状態の前記牽引手段の位置を含む

所定の範囲で出力する前記制御信号の変化量を前記所定の範囲以外の範囲で出力する前記制御信号の変化量より大きくすることを特徴とする。

これによって、中立基準位置で両方の牽引手段に弛みが生じていても中立基準位置での弛み制御を可能として被牽引機構を素早く正確に位置決めできる。

- 5       また、（１）湾曲自在に形成された被牽引機構を操作対象として前記操作対象を駆動力に応じて牽引する牽引手段と、操作に応答して前記操作対象の目標位置に対応した操作指令値信号を出力する操作指令値信号出力手段と、前記操作指令値信号をフィードフォワード補償値に従って補償してフィードフォワード制御信号を生成するフィードフォワード制御手段と、前記フィードフォワード制御信号
- 10       に基づいて駆動信号を生成する駆動信号生成手段と、前記駆動信号に従った駆動力で前記牽引手段を駆動する駆動手段とを備えてなる。

- （２）前記（１）に記載の前記被牽引機構の位置決め制御装置において、前記駆動状態検出信号を出力する駆動検出手段と、前記フィードフォワード制御手段の生成によるフィードフォワード制御信号を前記駆動手段に対する指令信号として
- 15       前記指令信号と前記駆動検出手段の検出信号との偏差を算出する偏差算出手段と、前記偏差算出手段の算出による偏差を基に前記偏差を零に抑制するための演算を行って駆動信号を生成する演算手段とを備えてなる。

- （３）前記（１）、（２）に記載の被牽引機構の位置決め制御装置において、前記牽引手段として互いに連結されて前記駆動手段の駆動による駆動力を順次伝
- 20       達する複数の牽引手段を備えているとともに、前記複数の牽引手段のうち前記駆動手段からの駆動力を他の牽引手段から受ける中継用牽引手段の駆動に伴う位置を検出して中継状態信号を出力する駆動検出手段と、前記フィードフォワード制御手段の生成によるフィードフォワード制御信号を前記駆動検出手段に対する指令信号として前記指令信号と前記駆動検出手段から出力される信号との偏差を算
- 25       出する偏差算出手段と、前記偏差算出手段の算出による偏差を基に前記偏差を零に抑制するための演算を行って駆動信号を生成する演算手段とを備えてなる。

(4) 前記(1)、(2)または(3)に記載の被牽引機構の位置決め制御装置において、前記フィードフォワード制御手段の生成によるフィードフォワード制御信号は前記操作指令値信号に対して位相が進んでなる。

5 (5) 前記(1)、(2)または(3)に記載の被牽引機構の位置決め制御装置において、駆動状態検出信号は駆動位置を出力する駆動検出手段である。

(6) 前記(1)、(2)または(3)に記載の被牽引機構の位置決め制御装置において、駆動状態検出信号は牽引手段の牽引に伴う張力を出力する駆動検出手段であり、操作指令値信号を張力指令値信号に変換する指令値変換手段を備えてなる。

10 (7) 前記(1)、(2)または(3)に記載の被牽引機構の位置決め制御装置において、前記牽引手段の牽引状態量を検出して牽引状態量検出信号を出力する牽引状態量検出手段と、前記操作指令値信号出力手段の出力による操作指令値信号と前記牽引状態量検出信号との偏差を算出する指令値・状態量偏差算出手段と、前記指令値・状態量偏差算出手段の算出による偏差を基に前記偏差を零に抑  
15 制するためのフィードバック制御信号を生成するフィードバック制御信号生成手段と、前記フィードフォワード制御手段の生成によるフィードフォワード制御信号を前記フィードバック制御信号で補正して前記駆動手段に対する位置指令値信号を生成する位置指令値信号生成手段とを備えてなる。

(8) 前記(7)に記載の被牽引機構の位置決め制御装置において、前記牽引  
20 状態量検出手段は、前記牽引手段の牽引に伴う変位を検出して前記操作対象の湾曲位置に対応した位置信号を牽引状態量検出信号として出力する湾曲位置検出手段で構成されてなる。

(9) 前記(7)に記載の被牽引機構の位置決め制御装置において、前記牽引  
25 状態量検出手段は、前記牽引手段の牽引に伴う張力を検出する張力検出手段と、前記張力検出手段の検出による張力と前記駆動位置検出手段の出力による駆動位置検出信号とから前記操作対象の湾曲位置を推定しこの推定結果を牽引状態量検出信号として出力する位置推定手段とから構成されてなる。

(10) 前記(7)に記載の被牽引機構の位置決め制御装置において、前記牽引状態量検出手段は、前記牽引手段の牽引に伴う張力を検出する張力検出手段と、前記操作指令値信号出力手段の出力による操作指令値信号と前記張力検出手段の検出による張力とから前記操作対象の状態を推定する状態推定手段と、前記状態推定手段により前記フィードフォワード制御手段、フィードバック制御手段各々のダイナミクスを変更するダイナミクス変更手段とから構成されてなる。

(11) 前記(3)に記載の被牽引機構の位置決め制御装置において、前記中継状態信号は中継位置を出力する中継状態量検出手段である。

(12) 前記(3)に記載の被牽引機構の位置決め制御装置において、前記中継状態信号は中継用牽引手段の牽引に伴う張力を出力する中継状態量検出手段である。

(13) 前記(10)に記載の被牽引機構の位置決め制御装置において、フィードフォワード制御手段のダイナミクスを変更するダイナミクス変更手段とから構成されてなる。

(14) 前記(10)に記載の被牽引機構の位置決め制御装置において、フィードバック制御手段のダイナミクスを変更するダイナミクス変更手段とから構成されてなる。

前記した手段によれば、操作者の操作に応答して操作指令値信号が出力されると、操作指令値信号がフィードフォワード制御手段によって補償され、フィードフォワード制御手段の生成によるフィードフォワード制御信号に基づいて生成された駆動信号にしたがった駆動力で牽引手段が駆動されるため、牽引時に、牽引手段の駆動に伴う遅れが生じても、この遅れはフィードフォワード制御手段によって補償され、操作対象の湾曲位置を操作指令値に瞬時に追従させることができ、操作性の向上に寄与することができる。

さらに、牽引手段の牽引状態量として、摩擦や弛みによって減衰した牽引手段の牽引に伴う変位(ワイヤの位置)を検出し、牽引状態量をフィードバックし、牽引状態量検出信号と操作指令値信号との偏差を基にフィードバック制御信号を

生成し、フィードフォワード制御信号をフィードバック信号で補正する制御を行うことで、牽引手段の内部に含まれる摩擦や弛み（ワイヤの弛み）に起因した非線形性を補償することができる。

5 本発明の上記および他の目的、特徴ならびに利点は、下記の発明の詳細な説明に具体的に記載されているか、あるいはこれを添付図面を参照して読んだ時に明確なものとなるであろう。

#### 図面の簡単な説明

第1図は、本発明の実施の形態1の電動内視鏡の構成図である。第2図は、第10 1図における補正テーブルの特性の一例を示す図である。第3図は、第1図における補正テーブルの特性の別の一例を示す図である。第4図は、第1図の電動内視鏡における補正テーブルを用いない場合のモータ位置、ワイヤ張力、湾曲角度の時間波形を示す図である。第5図は、第1図の電動内視鏡におけるモータ位置、ワイヤ張力、湾曲角度の時間波形を示す図である。第6図は、本発明の実施の15 形態2の電動内視鏡の構成図である。第7図は、本発明の実施の形態3の電動内視鏡の構成図である。第8図は、第7図の電動内視鏡の更新手段の動作を表すフローチャート図である。第9図は、本発明の実施の形態4の電動内視鏡の構成図である。第10図は、本発明の実施の形態5の電動内視鏡の構成図である。第11図は、本発明の実施の形態6の電動内視鏡の構成図である。第12図は、本発明の実施の形態7のロボットハンドの構成図である。第13図は、実施の形態820 を示す電動内視鏡の位置決め制御装置の全体構成図である。第14図Aおよび第14図Bは、本発明の実施の形態8によるワイヤ先端位置とワイヤ張力の応答波形図である。第15図Aおよび第15図Bは、従来技術によるワイヤ先端位置とワイヤ張力の応答波形図である。第16図は、本発明の実施の形態9を示す電動内25 視鏡の位置決め制御装置の全体構成図である。第17図Aおよび第17図Bは、本発明の実施の形態9によるワイヤ先端位置とフィードフォワード制御器の応答波形図である。第18図は、本発明の実施の形態10を示す電動内視鏡の位置決

め制御装置の全体構成図である。第 19 図は、ワイヤ張力検出器の回路構成図である。第 20 図 A および第 20 図 B は、位置推定器で用いるモデルの特性図である。第 21 図は、本発明の実施の形態 10 におけるワイヤ先端位置の推定結果を示す応答波形図である。第 22 図は、内視鏡状態推定器のブロック構成図である。  
 5 。第 23 図は、内視鏡状態推定器に用いる評価値とモデルとの関係を示す線図である。第 24 図は、本発明の実施の形態 11 を示す電動内視鏡の位置決め制御装置の全体構成図である。第 25 図は、本発明の実施の形態 12 を示す電動内視鏡の位置決め制御装置の全体構成図である第 26 図は、本発明の実施の形態 13 を示す電動内視鏡の位置決め制御装置の全体構成図である。第 27 図は、本発明の実施の形態 14 を示す電動内視鏡の構成図である。第 28 図は、本発明の実施の形態 14 の変形例を示す電動内視鏡の構成図である。第 29 図は、本発明の実施の形態 14 の変形例を示す電動内視鏡の構成図である。第 30 図は、本発明の実施の形態 14 の変形例を示す電動内視鏡の構成図である。第 31 図は、本発明の実施の形態 14 の変形例を示す電動内視鏡の構成図である。第 32 図は、本発明  
 10 の実施の形態 14 の変形例を示す電動内視鏡の構成図である。  
 15

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照して、本発明の実施の形態について説明する。なお、各実施の形態の図における同一符号は、同一物または相当物を示す。また、以下主に電動内視鏡に用いる場合について説明するが、本発明は必ずしも電動内視鏡に用いる場合に限定されるべきものではなく、ロボットハンド等、他の電動牽引機構に用いる場合を含むものである。  
 20

##### (実施の形態 1)

本発明の実施の形態 1 の電動内視鏡を、第 1 図から第 5 図を参照しながら説明する。  
 25

この電動内視鏡は、湾曲自在に形成された被牽引機構である湾曲部 2 と、湾曲部 2 を両方向から牽引して湾曲させる牽引手段であるワイヤ 4、5 と、制御信号



に応じてワイヤ４、５への駆動力を発生する駆動手段であるモータ９と、モータ  
９の位置を検出するための位置検出手段であるロータリーエンコーダ１４と、目  
標値を入力するための操作手段であるジョイスティック１０と、ジョイスティッ  
クによる目標値に対応した制御信号で且つロータリーエンコーダ１４で検出され  
た検出位置に基づいた制御信号を出力する制御手段である制御装置１１とを備え  
て構成されている。

挿入部１は、体腔内や配管等に挿入するために細長く形成されており、先端側  
に設けられた湾曲部２、湾曲部２を上下／左右に湾曲させるためのワイヤ４、５  
、ワイヤ４、５を保護するコイルシース６、７から成る。プーリ８、モータ９及  
び制御装置１１は挿入部１の外側に設けられている。

湾曲部２は、複数の節輪３を互いに回転自在に連結した蛇管からなり、第１図  
１では上下方向に湾曲される状態を示している。この湾曲部２は、湾曲された状  
態からワイヤ４、５による張力を弱めると元の状態にある程度まで復元しようと  
する性質を備えている。湾曲部２の先端部には、ワイヤ４、５の一端先端部が取  
り付けられている。２つのワイヤ４、５は、可撓性を有する材料で構成されてお  
り、それぞれコイルシース６、７の内部を通り、ワイヤ他端部がプーリ８に互い  
に反対側から巻き付けられて固定されている。プーリ８は、ギア等（図示しない  
）を介してモータ９と連結されて駆動手段の一部を構成している。つまり、モー  
タ９を駆動してプーリ８を回転すると、プーリ８に巻き付けられている一方のワ  
イヤ４は引かれ、他方のワイヤ５は繰り出される。これによって、湾曲部２は上  
方に湾曲される。

なお、第１図では、図の簡略化のため、上下方向に湾曲させるための装置のみ  
を図示しており、左右に湾曲させるためのワイヤ、コイルシース、プーリ、モー  
タ、制御装置については、上下に湾曲させる装置と基本的には、構成、動作、作  
用が同じなため省略してある。また、図示していないが、湾曲部やワイヤ、コイ  
ルシース等からなる挿入部は、細長の弾性パイプ等により保護されている。

挿入部 1 の最先端部には、通常、CCD 等（図示せず）が取り付けられており、CCD でとらえた体腔内の臓器や配管内部等の画像を映し出すモニタ（図示せず）が付属されている。操作者は、モニタに映し出される画像を見ながら、ジョイスティック 10 によって、湾曲部 2 を上下／左右に湾曲操作する。よって、ジョイスティック 10 の操作量と湾曲部 2 の湾曲角度とを一致させることが操作性の向上につながる。

制御装置 11 は、ジョイスティック 10 の操作量を目標値  $R$  として、この目標値  $R$  と湾曲部 2 の湾曲角度をできる限り一致させるように、モータ 9 を駆動するための制御信号を出力する。制御装置 11 は、予め具備したパラメータを有する補正テーブル 12、補正テーブル 12 から出力された制御信号  $R_{mot}$  をもとにモータ 9 を駆動するモータ制御器 13 から成る。モータ 9 にはロータリーエンコーダ 14 が取り付けられており、モータ位置検出器 15 でロータリーエンコーダ 14 の出力が検出され、モータ位置検出器 15 からモータ位置信号  $Y_{mot}$  が出力される。モータ制御器 13 は、制御信号  $R_{mot}$  とモータ位置信号  $Y_{mot}$  の偏差  $E_{mot} (= R_{mot} - Y_{mot})$  を補償するためのものであり、例えば、公知技術である PID（比例・積分・微分）補償器で構成されている。モータ制御器 13 から出力された制御信号は、モータアンプ 16 により増幅され、モータ 9 に入力される。このような構成により、モータ 9 は制御信号  $R_{mot}$  にほぼ遅れなく追従することができる。

モータ 9 は制御信号  $R_{mot}$  にほぼ遅れなく追従することができるので、補正テーブル 12 は、モータ 9 から湾曲部 2 の湾曲角度までの特性を補償すれば良い。電動内視鏡は、通常、湾曲部 2 が上下方向のどちらにも湾曲していない状態である中立基準位置では、ワイヤ 4 とワイヤ 5 のどちらにも弛みは生じていない。しかし、経時変化によりワイヤ 4、5 が伸びると、湾曲部 2 が上下方向のどちらにも湾曲していない初期状態（中立基準位置）で、ワイヤ 4 とワイヤ 5 の両方に弛みが生じてしまう場合がある。その状態では、上下方向のどちらに湾曲させようとしても、その方向のワイヤ弛みが解消されるところまでモータ 9 が回転する

までは、湾曲部 2 は湾曲しない。そこで、補正テーブル 1 2 は中立基準位置の所定範囲におけるその特性を補償するように構成されている。

補正テーブル 1 2 は、具体的には次式 (A) ~ (C) のように構成されている。

$$5 \quad R < R_1 \text{ の時、 } R_{mot} = R + (a - 1) \times R_1 \quad \dots\dots\dots (A)$$

$$R_1 \leq R \leq R_2 \text{ の時、 } R_{mot} = a \times R \quad \dots\dots\dots (B)$$

$$R_2 < R \text{ の時、 } R_{mot} = R + (a - 1) \times R_2 \quad \dots\dots\dots (C)$$

ただし、 $a$  は 1 よりも大きい値、 $R_1$  は両方のワイヤ 4、5 に弛みが生じる中立基準位置を含む目標値  $R$  の範囲の下限值、 $R_2$  は両方のワイヤ 4、5 に弛みが生じる目標値  $R$  の範囲の上限値である。この補正テーブル 1 2 の特性を第 2 図に示す。ここでは、ジョイスティック 10 の操作量を湾曲部 2 の湾曲角度 (位置) の目標値  $R$  としている。

このような構成によって、補正テーブル 1 2 は、両方のワイヤ 4、5 に弛みが生じる中立基準位置を含む目標値  $R$  の範囲では、それ以外の範囲よりも、目標値  $R$  に対する変化量が大きくなる制御信号  $R_{mot}$  を出力し、モータ 9 を素早く回転させ、ワイヤ弛みを素早く解消するように機能する。

下限値  $R_1$ 、上限値  $R_2$  は、ワイヤ 4、5 の伸び具合に応じて変えることが好ましいが、その都度、手動で設定しても良いし、適当なタイミングでキャリブレーションを行って、自動で設定しても良い。キャリブレーションによって自動で設定する場合は、ワイヤ 4、5 に張力センサ等を取り付けて、ワイヤ弛みを測定できるようにする必要がある。キャリブレーションでは、目標値  $R$  を自動的に生成して電動内視鏡を湾曲動作させるとともに、ワイヤ弛みを測定し、両方のワイヤ 4、5 に弛みが生じる目標値  $R$  の範囲を調べて、下限値  $R_1$ 、上限値  $R_2$  を設定する。

また、両方のワイヤ 4、5 に弛みが生じる中立基準位置を含む目標値  $R$  の範囲は、挿入部 1 の形状や湾曲部 2 の速度等によって異なる。よって、下限値  $R_1$ 、上限値  $R_2$  は、実際に両方のワイヤ 4、5 に弛みが生じる目標値  $R$  の範囲と完全

に一致させることはできない。実際の範囲よりも目標範囲 $R_1 \sim R_2$ が小さいと、ワイヤ弛みの補償が不十分になるし、実際の範囲よりも目標範囲 $R_1 \sim R_2$ が大きいと、弛みが生じていない部分で湾曲部の速度が大きくなりすぎてしまうことがある。下限値 $R_1$ 、上限値 $R_2$ は、それらの特性を考慮しながら、最も操作性が良くなるように調整する。

また、制御信号 $R_{mot}$ の微分値が急激に変化しないように、補正テーブル12の出力をそのまま制御信号 $R_{mot}$ とするのではなく、ノッチフィルタやローパスフィルタを通してから、制御信号 $R_{mot}$ としても良い。また、同様の理由で、補正テーブル12を、第3図のように、制御信号 $R_{mot}$ の目標値 $R$ に対する変化量が、1から $a$ へと連続的かつ滑らかに変化するような特性とすることがより好ましい。

第4図、第5図を参照して、この実施の形態1の効果を説明する。第4図は第1図において補正テーブル12を用いない場合の実験結果の一例であり、第5図は第1図に示す補正テーブル12を用いている場合の実験結果の一例である。この実験では、ジョイスティック10の操作量が三角波の場合を想定して、三角波を目標値100として与えている。第4図、第5図において、上段には、目標値100とモータ位置101、中段には、目標値100とワイヤ4、5の張力102、下段には、目標値100と湾曲部2の湾曲角度（先端の向き）104の時間波形を示す。なお、ワイヤ4、5の張力102は必ず正の値になるが、ここでは、湾曲角度104と対応して見やすくするため、下に湾曲させるためのワイヤ5の張力102は、負の値で表している。また、湾曲角度104は、上下方向のどちらにも湾曲していない時を0、上に湾曲した時を正、下に湾曲した時を負としている。

第4図に示す補正テーブルを用いない場合は、第4図上段で明らかなように目標値100とモータ位置101が一致しており、モータ9は制御信号に遅れなく追従していることが分かる。また、第4図中段で明らかなように、目標値100が0となる近傍で、両方のワイヤ4、5の張力102、103が0となっており

、両方のワイヤ4、5に弛みが生じていることが分かる。この弛みが生じている範囲105では、第4図下段で明らかなように湾曲角度104はほとんど変化しておらず、湾曲部2は目標値100に対してほとんど応答していないことが分かる。

- 5      これに対し、第5図に示す補正テーブル12を用いる場合は、第5図中段に示す両方のワイヤ4、5の張力107、108が0となる範囲110で、第5図上段で明らかなようにモータ位置106が大きく変化しており、モータ9が素早く大きく回転していることが分かる。その結果、弛みが生じている範囲110の時間が、第4図に比べて短くなり、第5図下段に示すように湾曲部2の応答性が格
- 10    段に向上していることが分かる。

(実施の形態2)

次に、本発明の実施の形態2を、第6図を参照して説明する。この実施の形態2は、次に述べる通り、実施の形態1と相違するものであり、その他の点については実施の形態1と基本的には同一である。

- 15    この実施の形態2は、ジョイスティック10の操作量を湾曲部2の速度の目標値 $R'$ としている。つまり、操作者は、湾曲部2の速度を指定して、操作することになる。この実施の形態2では、補正テーブル12の前に積分器17を設けて、実施の形態1と同様に、補正テーブル12に入力する値を湾曲部2の位置の目標値 $R$ とする。そして、補正テーブル12の後に微分器18を設けて、補正テ
- 20    ブル12から出力された制御信号 $R_{mot}$ を微分して、速度制御信号 $R_{mot}'$ とする。さらに、第1図のモータ位置検出器15の替わりに、モータ速度検出器19を設けて、モータ速度信号 $Y_{mot}'$ を得られるようにしている。モータ制御器13は、速度制御信号 $R_{mot}'$ とモータ速度信号 $Y_{mot}'$ の偏差 $E_{mot}'$  ( $=R_{mot}' - Y_{mot}'$ )を補償するようになっている。

- 25    この実施の形態2の構成によっても、実施の形態2と同様の効果を得ることができる。

(実施の形態3)

次に、本発明の実施の形態3を、第7図及び第8図を参照して説明する。この実施の形態3は、次に述べる通り、実施の形態1と相違するものであり、その他の点については実施の形態1と基本的には同一である。

実施の形態3は、両方のワイヤ4、5に弛みが生じる目標値Rの範囲 $R_1 \sim R_2$ を自動で更新するものである。この実施の形態3では、第7図に示すようにワイヤ4、5に張力センサ20、21を取り付けて、ワイヤ張力検出器22でワイヤ4、5の張力 $T_1$ 、 $T_2$ （どちらも0以上の値）を検出する。更新手段23は、ワイヤ4、5の張力 $T_1$ 、 $T_2$ とモータ位置信号 $Y_{mot}$ を用いて、下限値 $R_1$ 、上限値 $R_2$ の更新を行なう。この更新手段23は、両方のワイヤ4、5に弛みが生じており、かつ、下限値 $R_1$ 、上限値 $R_2$ を更新してもモータ9を急激に駆動させることがないと判断した時に、下限値 $R_1$ もしくは上限値 $R_2$ にその時のRを代入する。

ここで、この更新手段23の動作を、第8図を参照して説明する。

まず、ステップS1で、両方のワイヤ4、5に弛みが生じているかどうかを判断する。両方のワイヤ4、5に弛みが生じている時は、 $T_1 = T_2 = 0$ となるので、 $T_1 + T_2 = 0$ となれば、両方のワイヤ4、5に弛みが生じていることになる（ $T_1$ と $T_2$ はどちらも0以上の値しかとらないため）。しかし、張力センサ20、21の精度を考慮すると、 $T_1 + T_2$ が完全に0となるとは限らないので、あらかじめ設定した小さな正の値 $T_0$ を用いて、 $T_1 + T_2 < T_0$ となった時に、両方のワイヤ4、5に弛みが生じていると判断するようにする。両方のワイヤ4、5に弛みが生じていると判断した時は、次のステップS2へ進み、そうではない時は、下限値 $R_1$ 、上限値 $R_2$ の更新は行なわない。

なお、ステップS1は、小さな正の値 $T_{01}$ 、 $T_{02}$ を用いて、 $T_1 < T_{01}$ かつ $T_2 < T_{02}$ となった時に、両方のワイヤ4、5に弛みが生じていると判断するようにしても良い。

ステップS2では、下限値 $R_1$ 、上限値 $R_2$ を更新することによってモータ9を急激に駆動させることがないように、下限値 $R_1$ 、上限値 $R_2$ を更新した場合

の制御信号 $R_{mot}$ と、現在のモータ位置信号 $Y_{mot}$ が、ほぼ等しいかどうかを判断する。下限値 $R_1$ 、上限値 $R_2$ を更新した場合の制御信号は、 $a \times R$ と表すことができるので、 $|Y_{mot} - a \times R|$ が、あらかじめ設定した小さな正の値 $\epsilon$ よりも小さいかどうかで判断する。 $|Y_{mot} - a \times R| < \epsilon$ の時は、  
 5 下限値 $R_1$ もしくは上限値 $R_2$ の更新を行なうために、次のステップ $S_3$ へ進み、そうではない時は、下限値 $R_1$ 、上限値 $R_2$ の更新は行なわない。

また、現在のモータ位置信号 $Y_{mot}$ は、一瞬前（1サンプリング前）の制御信号とほぼ等しいので、ステップ $S_2$ では、モータ位置信号 $Y_{mot}$ の替わりに、一瞬前（1サンプリング前）の制御信号を用いるようにしても良い。

10 ステップ $S_3$ では、下限値 $R_1$ と上限値 $R_2$ のどちらを更新するかを判断する。湾曲部2が上下方向のどちらにも湾曲していない状態の目標値を0とすれば、両方のワイヤ4、5に弛みが生じる目標値の範囲は、普通は0をまたぐので、 $R_1 < 0$ 、 $R_2 > 0$ となる。よって、 $R > 0$ の時は、上限値 $R_2$ に現在の $R$ を代入し、そうではない時は、下限値 $R_1$ に現在の $R$ を代入するようにする。第8図に  
 15 示すこれらの方法で、下限値 $R_1$ 、上限値 $R_2$ を更新する。

また、 $|R_1| = |R_2|$ とみなして、下限値 $R_1$ を更新する時は、上限値 $R_2$ も $-R_1$ の値に更新し、上限値 $R_2$ を更新する時は、下限値 $R_1$ も $-R_2$ の値に更新するようにしても良い。

両方のワイヤ4、5に弛みが生じる目標値 $R$ の範囲は、挿入部の形状や湾曲部  
 20 の速度等によって異なるが、この実施の形態3を用いれば、自動的に下限値 $R_1$ 、上限値 $R_2$ を更新することができるので、実際の使用条件に適した状況で湾曲部の応答性を向上させることができる。

#### （実施の形態4）

次に、本発明の実施の形態4を、第9図を参照して説明する。この実施の形態  
 25 4は、次に述べる通り、実施の形態3と相違するものであり、その他の点については実施の形態3と基本的には同一である。

実施の形態4は、ジョイスティック10の操作量を湾曲部2の速度の目標値R'としたものである。この実施の形態4では、補正テーブル12の前に積分器17を設けて、補正テーブル12に入力する値を、実施の形態3と同様に、湾曲部2の位置の目標値Rとする。そして、補正テーブル12の後に微分器18を設けて、補正テーブル12から出力された制御信号 $R_{mot}$ を微分して、速度制御信号 $R_{mot}'$ とする。また、第7図のモータ位置検出器15の代わりにモータ速度検出器19を設けて、モータ制御器13は、速度制御信号 $R_{mot}'$ とモータ速度信号 $Y_{mot}'$ の偏差 $E_{mot}' (=R_{mot}' - Y_{mot}')$ を補償するようになっている。また、モータ速度検出器19と更新手段23の間に、積分器24を設けて、更新手段23には、モータ位置信号 $Y_{mot}$ が入力されるように構成している。

この実施の形態4の構成によっても、実施の形態3と同様の効果を得ることができる。

#### (実施の形態5)

次に、本発明の実施の形態5を、第10図を参照して説明する。この実施の形態5は、次に述べる通り、実施の形態3と相違するものであり、その他の点については実施の形態3と基本的には同一である。

実施の形態5は、実施の形態3を示した第7図において、補正テーブル12を、微分器25、可変ゲイン26、積分器27に置き換え、更新手段23を、切替手段28に置き換えたものである。補正テーブル12は、位置の目標値Rから制御信号 $R_{mot}$ を決定するが、実施の形態5の可変ゲイン26は、速度の目標値 $R'$ から速度制御信号 $R_{mot}'$ を決定する。

微分器25は、ジョイスティック10から出力された位置の目標値Rを微分して、速度の目標値 $R'$ を出力する。可変ゲイン26は、速度の目標値 $R'$ に $k$ を乗じて、速度制御信号 $R_{mot}'$ として出力する。 $k$ は、切替手段28によって決定する。切替手段28は、ワイヤ4とワイヤ5の両方に弛みが生じている時は、 $k$ を1よりも大きい $a$ とし、そうではない時は、 $k$ を1とする。ワイヤ4とワ



ワイヤ5の両方に弛みが生じているかどうかは、実施の形態3と同様の方法で判断する。つまり、 $T1 + T2 < T0$ となった時、もしくは、 $T1 < T01$ かつ $T2 < T02$ となった時に、両方のワイヤ4、5に弛みが生じていると判断する。積分器27は、速度制御信号 $R_{mot}'$ を積分して、制御信号 $R_{mot}$ を出力する

5。

また、制御信号 $R_{mot}$ の微分値が急激に変化しないように、積分器27の出力をそのまま制御信号 $R_{mot}$ とするのではなく、ノッチフィルタやローパスフィルタを通してから、制御信号 $R_{mot}$ としても良い。また、同様の理由で、切替手段28は、ワイヤ4、5の張力に応じて、1からaへと連続的に変化するよう

10 うにkを決定しても良い。

実施の形態5の構成によっても、実施の形態3と同様の効果を得ることができる。

(実施の形態6)

次に、本発明の実施の形態6を、第11図を参照して説明する。この実施の形態6は、次に述べる通り、実施の形態5と相違するものであり、その他の点については実施の形態5と基本的には同一である。

実施の形態6は、実施の形態5で湾曲部2の位置の目標値Rとしたジョイスティック10の操作量を、湾曲部2の速度の目標値 $R'$ としたものである。よって、実施の形態5を示した第10図における微分器25、積分器27を不要として

20 いる。また、第10図のモータ位置検出器15の替わりに、モータ速度検出器19を設けて、モータ制御器13は、速度制御信号 $R_{mot}'$ とモータ速度信号 $Y_{mot}'$ の偏差 $E_{mot}' (= R_{mot}' - Y_{mot}')$ を補償する。

この実施の形態6の構成によっても、実施の形態5と同様の効果を得ることができる。

25 また、第11図の切替手段28は、両方のワイヤ4、5に弛みが生じているかどうかを判断するのではなく、湾曲しようとしている方向のワイヤ4または5のみを考慮して、そのワイヤ4または5に弛みが生じているかどうかを判断して、

kを決定するようにしても良い。湾曲しようとしている方向のワイヤ4または5に弛みが生じている時に、kを大きくするようにすれば、湾曲する方向を切り替えた時に生じる弛みを補償することができ、その時の湾曲部の応答性も向上することができる。

#### 5 (実施の形態7)

次に、本発明の実施の形態7を、図12を参照して説明する。この実施の形態7は、次に述べる通り、実施の形態1と相違するものであり、その他の点については実施の形態5と基本的には同一である。

この実施の形態7は、実施の形態1の牽引位置決め装置を、ロボットハンドに適用した場合の構成を示す。このロボットハンドは、先端側に設けられた従動回転部29、従動回転部29を回転させるためのワイヤ4、5、このワイヤ4、5を保護するコイルシース6、7、原動回転部となるプーリ8、モータ9、ジョイスティック10、制御装置11を備えて構成されている。

従動回転部29にはフィンガー30が固定されており、従動回転部29が回転すると上下方向に動く。従動回転部29には、ワイヤ4、5の一侧先端部が互いに反対側から巻き付けられて固定されている。ワイヤ4、5は、それぞれコイルシース6、7の内部を通り、ワイヤ4、5の他端部がプーリ8に互いに反対側から巻き付けられて固定されている。プーリ8は、ギア等（図示しない）を介してモータ9と連結されている。モータ9を駆動してプーリ8を回転すると、従動回転部29が回転し、フィンガー30が動く。なお、ロボットハンドは、内視鏡と異なり、従動回転部29とプーリ8の間が柔軟な構造ではなくても良い場合があり、その場合は、コイルシース6、7は必ずしも必要ではない。

また、第12図で、同じ装置をもう一台下側に設けて、下側のフィンガーは、上側のフィンガーと逆の動きをさせることによって、物を把持したり開放したりする構成としても良い。その場合、ジョイスティック10や、制御装置11は、上側と下側で共通のものを使用して、プーリ8の回転方向だけ逆になるような構成にしても良い。また、フィンガー30の先に、さらに牽引機構を設けたり、別

の機具を設けたりしても良い。また、ジョイスティック 10 の替わりに、コンピュータ等を用いて、自動的に目標値 R を生成しても良い。

このようなロボットハンドにおいても、内視鏡と同様にワイヤ弛みの問題が生じるが、第 12 図に示す構成によって、電動内視鏡の場合と同様の効果を得ることが  
5 ができる。

同様に、実施の形態 2 から実施の形態 6 についても、ロボットハンドに適用することができる。

上述した実施の形態 1 ～ 7 によれば、中立基準位置で両方の牽引手段に弛みが生じていても中立基準位置での弛み制御を可能として被牽引機構を素早く正確に  
10 位置決めできる牽引位置決め装置を得ることができる。

#### (実施の形態 8)

次ぎに、実施の形態 8 について説明する。第 13 図は、本発明の実施の形態 8 を示す電動内視鏡の湾曲位置決め制御装置の全体構成図である。第 13 図において、電動内視鏡には、操作部に取付られて上下／左右に操作可能なジョイスティック 110、湾曲自在に構成された湾曲部 112、湾曲部 112 の先端側を上下  
15 方向に湾曲させるための牽引ワイヤ 114、116、牽引ワイヤ 114、116 が巻き付けられて牽引ワイヤ 114、116 に牽引力を付与するプーリ 118、プーリ 118 にギア機構を介して連結され、プーリ 118 を回転駆動するためのモータ（電動モータ）120 が設けられており、牽引ワイヤ 114、116 は連  
20 続した 1 本のワイヤで構成され、牽引ワイヤ 114、116 はそれぞれコイルシース 122、124 内を通過して湾曲部 112 に連結されている。湾曲部 112 は、被牽引機構の主要素を構成する操作対象として、複数の節輪 126 が互いに回転自在に連結された蛇管から構成されており、この湾曲部 112 は、ほぼ円筒状に形成されて、上下／左右方向に湾曲自在に構成されている。

湾曲部 112 は、牽引ワイヤ 114、116 の牽引によって上下方向に湾曲するようになっている。具体的には、モータ 120 が正回転または逆回転してプーリ 118 が回転すると、プーリ 118 に巻き付けられたワイヤ 114、116 の

うち一方のワイヤが引かれ、他方が繰り出され、湾曲部 1 1 2 が上下方向に湾曲するようになっている。すなわち、牽引ワイヤ 1 1 4、1 1 6、プーリ 1 1 8 はモータ 1 2 0 の駆動によって、操作対象としての湾曲部 1 1 2 を牽引する牽引手段として構成されている。

5       なお、本実施の形態 8 では、図の簡略化のために、湾曲部 1 1 2 を上下に湾曲させるための一対の牽引ワイヤ 1 1 4、1 1 6 のみを図示しており、湾曲部 1 1 2 を左右方向に湾曲させるのに必要な牽引ワイヤ、プーリ、モータ、制御装置については、湾曲部 1 1 2 を上下に湾曲させるものと基本的には同じもので構成することができるため省略してある。

10       また、湾曲部 1 1 2 とコイルシース 1 2 2、1 2 4 は細長の弾性パイプで構成された挿入部（図示省略）内に挿入されて保護されており、この挿入部先端となる湾曲部 1 1 2 の先端には、CCD などで構成された CCD カメラが取付られており（図示省略）、この CCD カメラは挿入部内に配線されたケーブルを介して  
15       モニタ（図示省略）に接続されている。そして、この CCD カメラで撮像された体腔内の臓器や工業用の配管などの画像がモニタの画面上に映し出されるようになっている。この場合、操作者は、基本的には、モニタの画面上に映し出された画像を見ながら、左手でジョイスティック 1 1 0 を上下または左右に湾曲操作するとともに、挿入部の途中を右手で保持し、挿入部を前後に移動させるとともに、時には挿入部に回転を加えて挿入部を体腔内などに押し込み、挿入部の先端側  
20       が観測点に到達した後は、湾曲部 1 1 2 の先端を湾曲操作することで、適切な状態で観測点を撮影したり、挿入部に挿入された処置具を用いて適切な処置を施すことができる。

このため、操作者はモニタを見て挿入部の先端から見た動きをリアルタイムに観察することができるため、モータ 1 2 0 を適切に制御することにより、湾曲部  
25       1 1 2 先端の動きを自在に制御できれば、操作者の操作負担が軽減され、操作性が大幅に向上することになる。

電動でワイヤ駆動する内視鏡において、モータの駆動力にしたがい挿入部先端

側の湾曲部 1 1 2 を牽引ワイヤ 1 1 4、1 1 6 によって牽引する。牽引する際に考慮しなければならないことは、牽引ワイヤ 1 1 4、1 1 6 とコイルシース 1 2 2、1 2 4 間の摩擦、プーリ 1 1 8 によって牽引されていない側の牽引ワイヤ（繰り出される牽引ワイヤ）に発生する弛みの発生、または、挿入部途中の屈曲形状の変化によって牽引ワイヤ 1 1 4、1 1 6 とコイルシース 1 2 2、1 2 4 間の摩擦や弛みの量が変動することである。すなわち、摩擦、弛み、特性変動の課題を克服しなければ、湾曲部 1 1 2 の湾曲位置を操作指令値に瞬時に追従させることはできない。

そこで、本実施形態 8 においては、操作指令値の位相を進ませるフィードフォワード制御系を用いて、位相が遅れるプーリ位置から牽引ワイヤ 1 1 4 または 1 1 6 の先端位置までのダイナミクスを動かし、フィードフォワード制御系では補償しきれない追従誤差をフィードバック制御系で補償する構成を採用することとしている。

具体的には、フィードフォワード制御系とフィードバック制御系を含む制御系は以下のように構成されている。

まず、フィードバック制御系を構成するに際して、本実施形態 8 においては、まず、コイルシース 1 2 2、1 2 4 の先端側に、各牽引ワイヤ 1 1 4、1 1 6 の移動量を観測するためのセンサ 1 2 8、1 3 0 が取り付けられている。センサ 1 2 8、1 3 0 は、牽引ワイヤ 1 1 4、1 1 6 の移動量を検出するセンサとして、例えば、光学式リニアエンコーダ、抵抗型リニアポテンショメータによって、各牽引ワイヤ 1 1 4、1 1 6 の移動量を検出するようになっている。この場合、各センサ 1 2 8、1 3 0 から湾曲部 1 1 2 の先端までの距離は、挿入部全体の長さに比べて短いため、各センサ 1 2 8、1 3 0 によって検出された牽引ワイヤ 1 1 4、1 1 6 の位置は、湾曲部 1 1 2 先端側の移動量、すなわち湾曲位置に等しい。各センサ 1 2 8、1 3 0 の検出によるワイヤ位置信号 1 3 2、1 3 4 はそれぞれワイヤ位置検出器 1 3 6 に入力されている。この場合、ワイヤ位置信号 1 3 2、1 3 4 は、牽引ワイヤ 1 1 4、1 1 6 がそれぞれ矢印の方向に移動したときに

正の値を示すようになっており、ワイヤ位置検出器 136 は、ワイヤ位置信号 132、134 の和の平均を求め、この平均値を湾曲部 112 先端の位置としてワイヤ先端位置信号 138 を出力するようになっている。

すなわち、センサ 128、130、ワイヤ位置検出器 136 は牽引状態量検出手段とともに牽引ワイヤ 114、116 の牽引に伴う変位を検出して湾曲部 112 の湾曲位置に対応したワイヤ先端位置信号 138 を牽引状態量検出信号として出力する湾曲位置検出手段として構成されている。

ワイヤ先端位置信号 138 はコントローラ 140 の加算器 142 に入力されており、この加算器 142 には指令値検出器 144 から指令値信号 146 が入力されている。指令値検出器 144 は、ジョイスティック 110 が上下／左右方向に操作されるときに、ジョイスティック 110 の操作に応答して、湾曲部 112 の目標湾曲位置に対応した指令値信号（操作指令値信号）146 を出力する操作指令値信号出力手段として構成されている。加算器 142 は、指令値信号 146 とワイヤ先端位置信号 138 との偏差を算出し、算出した偏差に関する信号をフィードバック制御器 148 に出力する指令値・状態量偏差算出手段として構成されている。フィードバック制御器 148 は、加算器 142 の算出による偏差に対してゲイン補償のみを実施して前記偏差を零に抑制するためのフィードバック制御信号を生成し、フィードバック制御信号を加算器 150 に出力するフィードバック制御信号生成手段として構成されている。

加算器 150 には、フィードフォワード制御器 152 からフィードフォワード信号が入力されるようになっている。フィードフォワード制御器 152 は、指令値検出器 144 から指令値信号 146 を入力したときに、この指令値信号 146 の位相を進ませるための処理として、指令値信号 146 をフィードフォワード補償値にしたがって補償する演算を行い、この演算結果としてフィードフォワード制御信号を生成するフィードフォワード制御手段として構成されている。具体的には、フィードフォワード制御器 152 は、次の（１）式で示すように、二次の位相進みフィルタで構成されている。

$$\frac{s^2 + 2 \cdot z_1 \cdot w_1 \cdot s + w_1^2}{s^2 + 2 \cdot z_2 \cdot w_2 \cdot s + w_2^2} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $s$ はラプラス演算子、 $w_1$ と $w_2$ は設定する周波数で、 $w_1 < w_2$ の  
 関係にあり、 $z_1$ と $z_2$ は減衰係数で、 $z_1 > z_2$ の関係に設定されている。こ  
 のフィルタの特性は、加算器150の生成によるモータ位置指令値154から牽  
 5 引ワイヤ114、116の先端位置までの伝達特性を測定し、その逆モデルを近  
 似して得られたものである。このため、基本的には、操作指令値が指令値信号1  
 46としてフィードフォワード制御器152を通過し、後述するモータフィード  
 バック閉ループ系、牽引ワイヤ114、116の先端位置までの伝達関数は  
 ほぼ1となり、牽引ワイヤ114、116の先端位置である湾曲部112の湾曲  
 10 位置は操作指令値とほぼ等しい動きをすることとなる。

フィードフォワード制御信号が入力される加算器150は、フィードフォーワ  
 ド制御信号をフィードバック制御信号で補正し、モータ120に対する位置指令  
 値信号としてのモータ位置指令値信号154を生成する位置指令値信号生成手段  
 として構成されており、モータ位置指令値信号154は加算器156に入力され  
 15 ている。加算器156にはモータ位置指令値信号154の他にモータ位置検出器  
 158からモータ位置信号160が入力されている。モータ位置検出器158に  
 は、モータ120の回転角度を検出するロータリーエンコーダ162から回転角  
 度を示す信号が入力されており、モータ位置検出器158はロータリーエンコー  
 ダ162の検出によるモータ120の回転角度にしたがってモータ位置信号16  
 20 0を生成するようになっている。すなわち、ロータリーエンコーダ162、モー  
 タ位置検出器158はモータ120の駆動に伴う位置を検出して駆動位置検出信  
 号としてのモータ位置信号160を加算器156に出力する駆動位置検出手段と  
 して構成されている。

加算器156はモータ位置指令値信号154とモータ位置信号160との偏差  
 25 を算出する位置偏差算出手段として構成されており、加算器156の算出による

位置偏差に関する信号はモータ用制御器 1 6 4 に入力されている。モータ用制御器 1 6 4 は、例えば、P I D（比例・積分・微分）補償器を備え、加算器 1 5 6 の生成による偏差を零にするための演算を行って駆動信号を生成し、駆動信号をモータアンプ 1 6 6 に出力する演算手段として構成されている。モータアンプ 1 6 6 は駆動信号を増幅し、増幅した駆動信号をモータ 1 2 0 に出力するようになっている。

上記構成において、操作者がジョイスティック 1 1 0 を操作すると、この操作にしたがった操作指令値が指令値信号 1 4 6 として出力され、指令値信号 1 4 6 とワイヤ先端位置信号 1 3 8 との偏差が加算器 1 4 2 で算出され、この偏差にしたがったフィードバック制御信号がフィードバック制御器 1 4 8 で生成されるとともに、位置指令値信号 1 4 6 の位相を進めるためのフィードフォワード補償演算がフィードフォワード制御器 1 5 2 で行われ、フィードフォワード制御信号が生成される。そしてフィードフォワード制御信号がフィードバック制御信号で補正されてモータ位置指令値信号 1 5 4 が生成され、モータ位置指令値信号 1 5 4 とモータ位置信号 1 6 0 との偏差に応じた位置偏差が加算器 1 5 6 で求められ、この位置偏差に基づいた駆動信号がモータ用制御器 1 6 4 で生成され、この駆動信号によってモータ 1 2 0 が正回転または逆回転駆動されると、牽引ワイヤ 1 1 4 または 1 1 6 による牽引が行われ、湾曲部 1 1 2 の先端側が上方または下方に湾曲する。この場合、モータ 1 2 0 は、プーリ 1 1 8 に加わる牽引ワイヤ 1 1 4 、 1 1 8 の張力の反力を打消し、モータ 1 2 0 の回転位置はモータ位置指令値 1 5 4 にほぼ遅れなく追従することができる。このためギアのがたなどを無視すれば、プーリ 1 1 8 の回転によって移動したプーリ 1 1 8 近傍のワイヤ移動量は、モータ位置指令値信号 1 5 4 にギア比とプーリ 1 1 8 の半径とを積演算することで算出することができる。

しかし、プーリ 1 1 8 が回転することによって移動したプーリ 1 1 8 近傍の牽引ワイヤ 1 1 4 または 1 1 6 の移動量と湾曲部 1 1 2 先端側の牽引ワイヤ 1 1 4 または 1 1 6 の移動量は比例関係にはならない。これは、牽引ワイヤ 1 1 4 、 1



1 6とコイルシース1 2 2、1 2 4との間の摩擦によって牽引ワイヤ1 1 4、1 1 6の引っ張り張力が途中で減衰するとともに、プーリ1 1 8の回転方向が逆転したときに弛みを巻取るまでの時間的空白（デッドゾーン）による位相の遅れ、さらに湾曲部1 2を構成する蛇管とチューブからなる湾曲部1 1 2の曲げを阻止しようとするダイナミクスが原因として考えられる。

そこで、本実施形態においては、指令値信号4 6の位相を進ませるフィードフォワード制御器5 2を用いて、位相が遅れるプーリ1 8位置から湾曲部1 2先端位置までのダイナミクスを動かし、それでは補償できない追従誤差をフィードバック制御器4 6で補償するようにしているため、湾曲部1 2の先端位置（湾曲位置）を操作指令値に遅れなく追従させることができる。

また本実施の形態8においては、牽引ワイヤ1 1 4、1 1 6の移動量をセンサ1 2 8、1 3 0によって検出しているため、摩擦や弛みによって減衰した牽引ワイヤ1 1 4、1 1 6の位置を検出できるとともに、この検出信号をフィードバックすることで、牽引手段を構成する系の内部に含まれる摩擦やワイヤの弛みに起因した非線形性を補償することができる。

また本実施の形態においては、挿入部のワイヤ機構は基本的には安定な系であることと、操作指令値とのオフセットは操作者がモニタを見て調整すればよいことから、フィードバック制御器1 4 8には、積分特性や微分特性を持たせず、ゲイン補償のみを実施することとしている。ただし、フィードバックを施すことにより、特定の周波数帯域ではゲインが増大することもあるため、ノッチフィルタなどにより、閉ループ系の特性を必要に応じて修正する。

また、フィードバック制御器1 4 8のゲインを高くすると、目標である操作指令値に追従するが、ゲインをあまり高くすると、急激なモータの反転動作を繰り返して振動的になるため、フィードバックゲインは1 倍から2 倍に設定されている。この場合、フィードバックゲインを低くする分だけ操作指令値と湾曲部1 1 2の先端位置は完全に一致しないが、操作指令値信号1 4 6の位相をフィードフ

ワード制御器 152 で進ませることで、湾曲部 112 先端位置を操作指令値に瞬時に追従させることができる。

次に、本発明に係る装置と従来技術の実験結果を第 14 図 A、第 14 図 B、第 15 図 A および第 15 図 B にしたがって説明する。第 14 図 A および第 14 図 B は第 13 に示す制御装置によって内視鏡の湾曲位置決め動作を実施したときの実験結果の 1 例を示す。第 15 図 A および第 15 図 B はジョイスティックの操作による位置指令値を直接モータ位置指令値として生成するようにした従来技術による応答結果である。第 14 図 A および第 15 図 A には上下の牽引ワイヤの先端位置における時間波形を、第 14 図 B および第 15 図 B には、内視鏡挿入部の上下の牽引ワイヤに作用する張力をプーリ側で測定した時間波形を示す。各図において、上段と下段の図には、ともに 7 秒周期の三角波形が図示されているが、これはジョイスティックからの指令値を想定して指令値 300 として印加したものである。また区間 A において、第 13 図に示すプーリ 118 は矢印方向（時計周り）に回転し、区間 B では反時計周りに回転するものとしている。

第 15 図 A および第 15 図 B において、従来技術のものは、上下のワイヤの先端位置 307、308 は目標指令値 300 に対し位相が 20 度程度遅れ、ゲインも三角形の頭がつぶれた台形形状となっていることが分かる。よって、従来技術のものでは、操作者が仮に湾曲部先端の移動を三角波に追従させようと思った場合には、ジョイスティックから三角波の指令値を入力しただけでは、湾曲部先端位置の位相が遅れるだけでなく、台形波形となっていることから、操作者は正確な位置決めを行うことができないことを意味する。したがって、目的を達成するためには、操作者はモニタを見ながら自分で湾曲部先端位置が三角波に追従するように指令値を修正することが余儀なくされる。このため、操作に熟練を要し、内視鏡を電動化することによってかえって操作者の負担が増加することになる。

これに対し、本発明のものは、第 14 図 A および第 14 図 B に示すように、上下の牽引ワイヤの先端位置 303、304 と目標指令値（操作指令値）300 とはほぼ一致する。このため操作者は、指令値通りに牽引ワイヤ 114、116 の

先端位置が動くので、電動化することで操作の負担が減り、精度良く湾曲部の先端を目的の個所に素早く位置決めすることが可能になる。

次に、張力に比較するに際して、図 15 (b) の従来技術の波形を観察すると、A 区間から B 区間において、回転の方向（操作方向）が代わる瞬間における張力 305 が 1 番大きく、回転の方向が代わったにも関わらず張力は徐々に下がり、逆に、下側のワイヤの張力 306 は張力がない（0）、すなわち弛みの状態から B 区間に移行し、回転の方向が変わったにも関わらず弛みの影響で 0.7 秒程度経ってから張力が張り始め、それとともに先端位置の方向が変化していることが分かる。

これに対して、本発明のものは、第 14 図 B に示すように、B 区間になってからほぼ瞬時に張力 302 が張り始めていることが分かる。これは、目標指令値（操作指令値）の位相を進ませたフィードフォワード制御器 152 とワイヤの先端位置をフィードバック制御するフィードバック制御器 148 の効果である。牽引ワイヤ 114、116 の張力が張ることにより、牽引ワイヤ 114、116 の先端位置をプーリ 118 で制御することができる。なお、弛みに着目し、弛みを早急に解除する他の従来技術では、その間にワイヤの先端位置が目標の指令値から大きくずれてしまうため、操作者はワイヤの先端位置を指令値に合わせるための修正を自分自身で試みなければならないため、熟練を要し、電動化することによってかえって操作者の負担が増加することになる。

#### 20 (実施の形態 9)

次に、本発明の実施の形態 9 を、第 16 図にしたがって説明する。本実施の形態 9 は、第 13 図に示す制御装置から牽引ワイヤの先端位置をフィードバック制御するためのフィードバック制御系を取り除いたものであり、他の構成は第 13 図と同様である。

25 本実施の形態 9 においては、指令値検出器 144 の出力による指令値信号 146 の位相をフィードフォワード制御器 152 で進ませてフィードフォワード制御信号を生成し、フィードフォワード制御信号とモータ位置信号 160 との偏差を

加算器 156 で求め、この偏差を零にするための駆動信号をモータ用制御器 164 で生成し、この駆動信号をモータアンプ 166 で増幅してモータ 120 を回転駆動する構成を採用しているため、操作指令値に対して牽引ワイヤ 114、116 の牽引による湾曲部 112 の先端位置を遅れなく追従させることができる。すなわち、プーリ 118 の動きから牽引ワイヤ 114、116 の先端位置までは牽引ワイヤ 114、116 とコイルシース 122、124 との摩擦や牽引ワイヤ 114、116 の弛みなどの非線形性の影響で位相は遅れるが、この位相の遅れをフィードフォワード制御器 152 によって補償することができる。このため、操作指令値の位相をフィードフォワード制御器 152 で進ませることで、操作指令値に対してプーリ 118 の動きを進ませることが可能になる。

本実施の形態 9 において、牽引ワイヤ 114、116 の先端位置と操作指令値との関係を測定したところ第 17 図 A および第 17 図 B に示すような実験結果が得られた。第 17 図 B には、操作指令値を示す三角波 300 とフィードフォワード制御器 152 から出力されるモータ位置指令値の波形 311 の特性を示す。第 17 図 A および第 17 図 B から、ジョイスティック 110 の操作によって操作方向が変化する度に、適切なオフセットが指令に加わり、その指令値はその位相が進む方向に修正されていることが分かる。これにより、第 15 図 A に示した先端位置 307、308 に比べて、第 17 図 A では、牽引ワイヤ 114、116 の先端位置 307、308 が指令値の三角波 300 に近づいていることが分かる。

このように、本実施の形態 9 においては、実施の形態 8 とは異なりフィードバック系がないため、挿入部の摩擦などの特性変動には対応することはできないが、操作指令値の位相を進ませることにより、湾曲部 112 先端の動きは、より操作指令値に近づくことが分かる。

また本実施の形態 9 におけるフィードフォワード制御器 152 としては、次の  
(2) 式で示すように、符号が変化する構成を用いても良い。

$$g \cdot \operatorname{sgn}(\dot{R}) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $R$ は目標指令値、 $\operatorname{sgn}$ はその符号を表す。またゲイン $g$ の大きさは、一定値よりも指令値の速度が小さいときにはその速度に比例し、指令値の速度が一定値以上大きくなったときには一定値とするように構成した方がよい。これ  
5 により、速度の符号の変化に対し、モータ20の速度を徐々に変化させることができ、牽引ワイヤ114、116などの振動を抑えることができる。

また本実施の形態9においては、内視鏡挿入部には、特殊なセンサ128、130やフィードバック制御系がないため、実施の形態8よりも低コスト化を図ることができる。

#### 10 (実施の形態10)

次に、本発明の実施の形態10を、第18図ないし第23図にしたがって説明する。本実施の形態10は、牽引ワイヤの先端位置をフィードバックする代わりに、牽引ワイヤ114、116の張力を検出し、この張力をフィードバックするようにしたものであり、牽引ワイヤ114、116のプーリ118側に牽引ワイ  
15 ヤ114、116の張力を検出する張力センサ168、170が設けられており、各張力センサ168、170の検出値はそれぞれワイヤ張力検出器172に入力されている。

各張力センサ168、170は、例えば、第19図に示すように、歪みゲージ174、ブリッジ回路176、差動増幅回路178を備えて構成されており、牽  
20 引ワイヤ114、116に微小細長の歪みゲージ174がそれぞれ装着されている。歪みゲージ174によって歪み量の変化が検出されると、この歪み量の変化を示す信号は、歪み量の変化に比例して抵抗の変化するブリッジ回路176を介して差動増幅回路178で増幅されるようになっている。この場合、牽引ワイヤ114、116に外力が加わらないときには、歪みゲージ174の抵抗値でブリ  
25 ッジ回路176のバランスが保たれており、差動増幅回路178の出力は0であ

る。一方、牽引ワイヤ114または116がプーリ118によって引っ張られると、牽引ワイヤ114または116に外力が加わり、歪みゲージ174の抵抗値が変化し、ブリッジ回路176のバランスが崩れ、差増増幅回路178の出力端に電圧が発生する。この出力電圧は、各牽引ワイヤ114または116に作用する張力を示す信号としてワイヤ張力検出器172に出力されるようになっている。  
ワイヤ張力検出器172は各張力センサ168、170の検出による張力を加算して、湾曲部112の先端を引っ張る実質の内部張力を示す内部張力信号180を出力するようになっている。すなわち、張力センサ168、170、ワイヤ張力検出器172は張力検出手段として構成されており、内部張力信号180は内視鏡状態推定器182と位置推定器184に出力されるようになっている。なお、ここで張力センサ168、170の検出による張力の正負は、第14図Bに示す特性と同じ関係となっている。

位置推定器184は、内部張力信号180と内視鏡状態推定器182の推定結果186とから湾曲部112の湾曲位置を推定し、この推定結果188を牽引状態量検出信号として加算器142に出力する位置推定手段として構成されている。  
この位置推定器184は、内部張力信号180から牽引ワイヤ114、116の先端位置までのダイナミックスをモデル化したもので構成されており、状態推定結果186にしたがって複数のモデルの中から指定のモデルを選択することで挿入部の先端位置を推定できるようになっている。この位置推定器184に用いられるモデルとしては、例えば、一次のローパスフィルタを複数個用いて構成されている。そして、状態推定結果186からモデルを選択する場合、内視鏡の挿入部の状態に応じて指定のモデルを選択する必要がある。すなわち、挿入部は体腔内などに挿入されることから、挿入開始はほぼストレート状態であるが、腸などの形状に沿って挿入される際、挿入部の途中の屈曲率は場所によって大きくなることがある。屈曲率が大きくなると、コイルシース122、124と牽引ワイヤ114、116との間の摩擦力が大きくなり、測定した内部張力信号180から牽引ワイヤ114、116先端位置までのダイナミックスは挿入部がストレー

ト状態の時と比べてその特性が変動する。さらに、内視鏡の使用環境状態や経時的な変化によってもダイナミックスの特性は変動する。よって、より牽引ワイヤの先端位置（湾曲位置）の推定精度を上げるためには、それらの状態を推定し、この推定にしたがったモデルを選択するとともに、選択したモデルにしたがって

5 フィードバック制御器148を制御する必要がある。

そこで、本実施の形態10においては、内視鏡状態推定器182において、操作指令値を示す指令値信号146と内部張力の大きさを示す内部張力信号180との関係比から予め定めた関数にしたがって適切なモデルを選択するための状態推定結果186を求め、この状態推定結果186を位置推定器184に出力することとしている。この状態推定結果186は、内部張力信号180から牽引ワイヤ114、116先端位置までのダイナミックスの特性変動が張力に最も現われることを考慮して求められるようになっている。すなわち、同じ操作指令値であっても、操作指令値に基づいてモータ120を駆動したときに、挿入部がストレート状態のときには、牽引ワイヤ114、116に加わる張力は小さく、逆に挿入部の屈曲率が大きく、挿入部の途中がぐるりと回転しているときには、牽引ワイヤ114、116に加わる張力は大きくなる。このため、内視鏡状態推定器182は、操作指令値と内部張力とから湾曲部112の状態を推定するようになっており、内視鏡状態推定器182は操作指令値信号146と内部張力信号180とから湾曲部112の状態を推定する状態推定手段として構成されている。

15

位置推定器184に用いるモデルとしては、例えば、第20図Aおよび第20図Bに示すように、4つの一次ローパスフィルタを用いることができる。4つのモデルは特性320、321、322、323で表されており、各特性のクロスオーバー周波数はそれぞれ1Hz、2Hz、4Hz、8Hzになっている。そして、挿入部がストレート状態のときには、クロスオーバー周波数が4Hzで特性322のものを使用する。また挿入部の途中が回転していて摩擦などが大きい場合には、例えば、クロスオーバー周波数が1Hzで特性320のものを使用する。ここで、モデルとしてクロスオーバー周波数が4Hzのローパスフィルタを用

20

25

いてワイヤの先端位置を推定したところ、第21図に示すような実験結果が得られた。この場合、ワイヤ先端の位置を示す台形波形の形状は指令値とは完全に形状は一致していないが、位相特性が一致しており、牽引ワイヤの先端位置307、308と位置推定器184によって推定した推定結果312とは一致することが確認できた。

また、内視鏡状態推定器182は、第22図に示すように、ローパスフィルタ190、192、絶対値演算回路194、196、積分回路198、200、評価値算出回路202、関数参照回路204、モデル決定回路206を備えて構成されている。ジョイスティック110の操作に基づく指令値信号146はローパスフィルタ190に入力されており、指令値信号146がローパスフィルタ190を通過することでノイズ成分がカットされるとともに必要な帯域の信号のみが通過する。ローパスフィルタ190を通過した信号は絶対値演算回路194で正のみの信号に変換され、その信号は積分回路198で一定時間 $T_0$ だけ積分され、その積分値は操作指令値の大きさ $RI$ として評価値算出回路202に出力される。この場合、操作指令値を $R$ とすると、 $RI$ は次の(3)式で示すように、

$$RI = \int_0^{T_0} |R| dt \quad \dots\dots\dots (3)$$

となる。

一方、内部張力信号180はローパスフィルタ192に入力されており、この内部張力信号180はローパスフィルタ192でノイズ成分が除去されるとともに必要な帯域の信号のみがローパスフィルタ192を通過し、ローパスフィルタ192を通過した信号は絶対値演算回路196で正のみの信号に変換される。そしてこの信号が積分回路200で一定時間 $T_0$ だけ積分されると、この積分値は内部張力 $C$ の大きさ $CI$ を示す信号として評価値算出回路202に出力される。この場合、内部張力 $C$ の大きさ $CI$ は、次の(4)式で示すように、



$$CI = \int_0^{T0} |C| dt \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。

評価値算出回路 202 において操作指令値の大きさ R I を内部張力の大きさ C  
I で除算することで、内視鏡挿入部の状態に関する評価値が算出される。この評  
5 評価値にしたがって関数参照回路 204 において関数を参照するに際しては、第 2  
3 図に示すような評価値とモデル折れ点周波数（クロスオーバー周波数）との関係  
が設定されている。この関係は次の（5）式で示すように、

$$\frac{8}{CI/RI} \quad \dots\dots\dots (5)$$

で表される。

10 評価値に対応したモデル折れ点周波数（クロスオーバー周波数）が決定される  
と、評価値に対応したモデル折れ点周波数のモデルがモデル決定回路 206 によ  
って決定され、この決定が状態推定結果 186 として出力される。

例えば、評価値が 8 より大きい場合、すなわち、操作指令値に対して張力の大き  
きさが大きい場合には、摩擦などにより挿入部のダイナミックスの遅れが大き  
15 なることを意味し、モデルには折れ点周波数 1 Hz のローパスフィルタのものが  
選択される。一方、評価値が 1 から 8 の間のときには、（5）式にしたがってモ  
デル折れ点周波数を算出し、評価値が 1 より小さい場合には、モデル折れ点周波  
数として 8 Hz に設定する。例えば、評価値が 2 で関数との交点が A のときには  
ストレート状態の評価値であり、このときのモデルとしては折れ点周波数 4 Hz  
20 ものが選択される。

なお、絶対値演算回路 194、196 を通過した信号を所定時間積分する代わりに、所定時間だけ 0、1 Hz 程度のローパスフィルタを通過した信号を用いることもできる。またモデルの更新は一定時間ごとに実施すれば良い。

6      このように、本実施の形態 10 において、位置推定器 184 によって推定された推定結果 188 がフィードバックされてフィードバック制御が実行されるため、フィードフォワード制御器 152 では補償しきれない追従誤差をフィードバック制御系で補償することができる。

さらに、本実施の形態 10 においては、フィードフォワード制御器 152 とフィードバック制御器 148 において一定時間ごとに内視鏡挿入部の状態に応じて  
10      モデルを更新することで、より高精度な位置決めを達成することができる。

なお、本実施の形態 10 においては、モデルの更新とともに、フィードバック制御器 148 のパラメータやフィードフォワード制御器 152 のパラメータも調整することができる。

#### (実施の形態 11)

15      次に、本発明の実施の形態 11 を、第 24 図にしたがって説明する。本実施の形態 11 は、第 18 図に示す内視鏡状態設定器 182、位置推定器 184 の代わりに、プーリ 118 の回転移動量を示すモータ位置信号 160 と内部張力信号 180 とから牽引ワイヤ 114、116 の先端位置を推定する位置推定器 208 を設けたものであり、他の構成は第 18 図のものと同様である。この位置推定器 208 は、モータ位置検出器 158 の検出によるモータ位置信号 160 とワイヤ張力検出器 172 の検出による内部張力信号 180 とを受け、これらの信号を基に牽引ワイヤ 114、116 の先端位置（湾曲部 112 の湾曲位置）を推定し、この推定結果 210 を牽引状態量検出信号として加算器 142 に出力する位置推定手段として構成されている。

25      位置推定器 208 において、プーリ 118 の回転移動量に相当するモータ位置信号 160 と内部張力を示す内部張力信号 180 とから牽引ワイヤ 114、116 の先端位置を推定するに際しては、牽引ワイヤ 114、116 の剛性が既知で

あるとして牽引ワイヤの先端位置を推定することとしている。この場合、内部張力  $T_{en}$  は次の (6) 式によって発生すると考えられる。

$$T_{en} = K \times (P_{osp} - P_{osf}) \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 $K$  は牽引ワイヤ 114、116 の剛性、 $P_{osp}$  はプーリ 118 が回転することによって移動した牽引ワイヤ 114、116 の移動量、 $P_{osf}$  は牽引ワイヤの先端位置である。この式を牽引ワイヤの先端位置について解くと、次の (7) 式となる。

$$P_{osf} = P_{osp} - T_{en}/K \dots\dots\dots (7)$$

上記 (7) 式において、牽引ワイヤ 114、116 の剛性を予め測定しておくことで、 $P_{osp}$  のワイヤ移動量は、ロータリーエンコーダ 162 の検出値からギア比とプーリ 118 の半径とを積演算することにより算出することができる。これにより、牽引ワイヤの先端位置をリアルタイムに推定することが可能である。

本実施の形態 11 においては、位置の推定結果 210 と操作指令値との偏差に応じたフィードバック制御が実行されるため、牽引ワイヤの先端位置を操作指令値に追従させることができる。

(実施の形態 12)

次に、本発明の実施の形態 12 を、第 25 図にしたがって説明する。本実施の形態 12 は、ジョイスティック 110 の操作による操作指令値は位置の関数であることを考慮し、指令値信号 146 を指令値変換器 212 において張力指令値 214 に変換し、張力指令値 214 と内部張力信号 180 との偏差を加算器 142 で求め、この偏差をフィードバック制御器 148 でフィードバック制御を実行するようにしたものであり、他の構成は第 16 図のものと同様である。

指令値変換器 212 は、例えば一次のハイパスフィルタを備え、指令値信号 146 を張力指令値 214 に変換する指令値変換手段として構成されている。

本実施の形態 12 においては、内部張力信号 180 と張力指令値（張力指令値信号） 214 との偏差に従ってフィードバック制御するようにしているため、牽引ワイヤ 114、116 の先端位置を張力指令値に追従させることができる。

なお、ジョイスティック 110 などの入力手段に張力指令を直接入力できる場合には、その信号と内部張力との偏差を取ってフィードバック制御器 148 に入力する構成を採用することもできる。

#### （実施の形態 13）

次に、本発明の実施の形態 13 を、第 26 図にしたがって説明する。本実施の形態 13 は、第 13 図に示す牽引ワイヤ 114、116 を操作部 216 に設けられた中継プーリ 218 に巻き付け、さらに中継プーリ 218 に牽引ワイヤ 220、222 の一端側を巻き付けるとともにコイルシース 224、226 内を通し、牽引ワイヤ 220、222 の他端側をプーリ 218 に巻き付け、牽引ワイヤ 114、116 と牽引ワイヤ 220、222 とを中継プーリ 218 を介して互いに連結して複数の牽引手段を構成するようになっている。中継プーリ 218 には中継プーリ 218 の回転角を検出するポテンショメータ 228 が設けられており、ポテンショメータ 228 の検出による回転角信号 230 は中継位置検出器 232 に出力されるようになっている。すなわち、本実施の形態 13 においては、操作部 216 を、挿入部の途中に中継プーリ 218 を介して設けることで、挿入部の長さを短くするようになっている。また、モータ 120 から中継プーリ 218 までの牽引ワイヤ 220、222 とコイルシース 224、226 は、先端湾曲部 126 に取り付けられた CCD 用の電送系などが配設されたユニバーサルコード内に配置されている。そして、操作者は、中継プーリ 218 を覆う操作部 216 に取り付けられているジョイスティック 110 などの入力手段（図示しない）を親指などで操作できるようになっている。

中継位置検出器 2 3 2 は回転角信号 2 3 0 を基に中継プーリ 2 1 8 の回転角を示す中継位置信号 2 3 4 を加算器 2 3 6 に出力するようになっている。すなわちポテンショメータ 2 2 8、中継位置検出器 2 3 2 は牽引手段のうち中継用牽引手段の駆動に伴う位置を検出して中継位置信号 2 3 4 を出力する中継位置検出手段として構成されている。加算器 2 3 6 は加算器 1 5 0 の出力によるモータ位置指令値信号 1 5 4 を中継プーリ位置指令値として受け、この中継プーリ位置指令値と中継位置信号 2 3 4 との偏差を求め、この偏差を中継位置フィードバック制御器 2 3 8 に出力するようになっている。中継位置フィードバック制御器 2 3 8 は加算器 2 3 6 の算出による偏差を零に抑制するための中継位置フィードバック制御信号を生成し、この中継位置フィードバック制御信号をモータ位置指令値として加算器 1 5 6 に出力するようになっている。加算器 1 5 6 では、モータ位置指令値とモータ位置信号 1 6 0 との偏差が求められ、この偏差に応じた駆動信号がモータ用制御器 1 6 4 で生成され、この駆動信号がモータアンプ 1 6 6 で増幅されてモータ 1 2 0 が駆動されるようになっている。すなわち、モータ用制御器 1 6 4 においては、プーリ 1 1 8 に加わる張力の反作用を打消し、モータ 1 2 0 の回転角をモータ位置指令値に追従させる制御が行われる。

一方、中継位置フィードバック制御器 2 3 8 においては、モータ 1 2 0 に連結されたプーリ 1 1 8 の端部で生じる弛みやユニバーサルコード内の牽引ワイヤ 2 2 0、2 2 2 の摩擦などの影響を打消し、中継プーリ 2 1 8 の回転角を中継プーリ位置指令値 1 5 4 に追従させる制御が行われる。

また、フィードバック制御器 1 4 8 においては、中継プーリ 2 1 8 から先端の内視鏡挿入部に存在する弛みや摩擦の影響を打消し、牽引ワイヤ先端位置を操作指令値に追従させる制御が行われる。

さらにフィードフォワード制御器 1 5 2 においては、操作指令値の位相を進ませる制御が行われ、位相が遅れるプーリの位置からワイヤ先端位置までのダイナミックスを動かす制御が行われるようになっている。

本実施の形態 1 3 において、中継プーリ 2 1 8 にポテンシオメータ 2 2 8 などを取り付けると、操作部 2 1 6 が大きく且つ重くなるため、中継プーリ 2 1 8 の回転角を検出できない場合があるときには、モータ位置のフィードバック系とワイヤ位置のフィードバック系を実施すればよい。また、センサ 1 2 8、1 3 0 を  
5 取り付けることができないときには、位相進みフィルタで構成したフィードフォワード制御器 1 5 2 のみでモータ位置指令値を作成すればよい。さらに、挿入部に張力センサを取付け、張力センサの検出による張力からワイヤの先端位置を推定する構成を採用してもよい。またモータ側の牽引ワイヤに張力センサを取付け、牽引ワイヤの位置を推定してフィードバックする構成を採用してもよい。

10 本実施の形態 1 3 は、基本的には、2 つの内視鏡挿入部の組み合わせであるため、実施の形態 8 から実施の形態 1 2 においても複数の牽引手段を設けることを実施することができる。さらに中継プーリ 2 1 8 をもう 1 段増やす構成を採用することもできる。

前記各実施形態においては、電動内視鏡の湾曲部 1 1 2 を操作対象にしたもの  
15 について述べたが、牽引ワイヤなどで牽引して先端部を操作するための他の装置、例えば、ワイヤ駆動ロボットアーム（ハンド）や鉗子などの口部の開閉をワイヤなどを利用して実施する装置などを操作対象として本発明を適用することができる。

また、前記実施形態のうち、フィードバック制御器とフィードフォワード制御  
20 器を用いたものについて述べたが、一方のみを設けることによっても各制御器を設けたことによる効果を達成することができる。

さらに、前記各実施形態では、制御装置をアナログ回路で構成したものについて述べたが、マイクロコンピュータなどを用いてデジタル制御することも可能である。

25 また、前記各実施形態によれば、ジョイスティック 1 0 の操作に伴う操作指令値とモータ 1 2 0 によって牽引ワイヤが牽引されることによって湾曲する湾曲部

1 1 2 の湾曲動作の応答性を向上させることができ、電動内視鏡の位置決め  
操作性の向上を図ることができる。

以上説明したように、実施の形態 8 ～ 1 3 によれば、操作指令値をフィード  
フォワード制御手段によって補償するようにしたため、操作対象の湾曲位置を操  
5 作指令値に瞬時に追従させることができ、操作性の向上に寄与することができる。

(実施の形態 1 4)

この実施の形態 1 4 では、上述した実施の形態 1 ～ 7 と実施の形態 8 ～ 1 3 と  
を適宜組み合わせたものである。

たとえば、第 2 7 図は、第 1 3 図に示した構成に第 1 図に示した構成を適用し  
10 た電動内視鏡の構成を示す図である。第 2 7 図に示した電動内視鏡は、第 1 図に  
示したモータ制御器 1 3 を除いた制御装置 1 1 を、第 2 7 図のモータ制御器 1 6  
4 の前段に設けた構成としている。これによって、この実施の形態 1 4 に示した  
電動内視鏡は、第 1 3 図に示した実施の形態 8 の電動内視鏡の作用効果を奏する  
とともに、第 1 図に示した実施の形態 1 の電動内視鏡の作用効果をも奏すること  
15 になる。

同様に、第 2 8 図に示した電動内視鏡は、第 1 6 図に示した実施の形態 9  
の電動内視鏡に、第 1 図に示した実施の形態 1 の制御装置 1 1 を適用したもので  
ある。また、第 2 9 図に示した電動内視鏡は、第 1 8 図に示した実施の形態 1 0  
の電動内視鏡に、第 1 図に示した実施の形態 1 の制御装置 1 1 を適用したもので  
20 ある。

さらに、第 3 0 図に示した電動内視鏡は、第 1 6 図に示した実施の形態 9 の電  
動内視鏡に、第 6 図に示した実施の形態 2 の制御装置 1 1 を適用したものである  
。第 3 1 図に示した電動内視鏡は、第 1 6 図に示した実施の形態 9 の電動内視鏡  
に、第 7 図に示した実施の形態 3 の制御装置 1 1 を適用したものである。第 3 2  
25 図に示した電動内視鏡は、第 1 6 図に示した実施の形態 9 の電動内視鏡に、第 1  
0 図に示した実施の形態 5 の制御装置 1 1 を適用したものである。

このような実施の形態 1 ～ 7 に示した制御装置 1 1 を実施の形態 8 ～ 1 3 に適

用することによって、操作対象の湾曲位置を操作指令値に瞬時に追従させることができ、操作性の向上に寄与することができるとともに、特に、中立基準位置で両方の検索手段に弛みが生じていても中立基準位置での弛み制御を可能として被牽引機構を素早く正確に位置決めできる。

- 5 本発明を完全かつ明瞭に開示するために特徴的な実施例に関し記載してきた。しかし、添付の請求項は、上記実施例に限定されるべきものではなく、本明細書に示した基礎的事項の範囲内で当該技術分野の当業者が創作しうるすべての変形例および代替可能な構成を具体化するように構成されるべきである。



## 請求の範囲

1. 湾曲自在又は回転自在に形成された被牽引機構を有する操作対象を牽引して湾曲又は回転させる牽引手段と、  
5 前記牽引手段への駆動力を発生する駆動手段と、  
操作手段によって入力された目標値に対応し、且つ前記駆動手段によって前記牽引手段を駆動させる制御をするための制御信号を前記駆動手段に出力する制御手段と、  
を備え、前記制御手段は、前記牽引手段による牽引をする前の状態の前記牽引  
10 手段の位置を含む所定の範囲で出力する前記制御信号の変化量を前記所定の範囲  
以外の範囲で出力する前記制御信号の変化量より大きくすることを特徴とする牽引位置決め装置。
2. 前記制御手段は、前記操作対象の前記湾曲又は回転する量为目标値とする  
15 前記制御信号を出力することを特徴とする請求の範囲第1項に記載の牽引位置決め装置。
3. 前記制御手段は、前記操作対象の湾曲又は回転する速度为目标値とする前記制御信号を出力することを特徴とする請求の範囲第1項に記載の牽引位置決め装置。  
20 装置。
4. 前記制御手段は、前記目標値に対して予め具備したパラメータを参照することで前記制御信号を決定することを特徴とする請求の範囲第1項に記載の牽引位置決め装置。  
25
5. 前記制御手段は、前記目標値に対してパラメータを参照することで前記制御信号を決定し、前記牽引手段の状態量に応じて前記パラメータを更新すること

を特徴とする請求の範囲第 1 項に記載の牽引位置締め装置。

6. 前記制御手段は、前記牽引手段の張力に応じて前記パラメータを更新することを特徴とする請求の範囲第 5 項に記載の牽引位置決め装置。

5

7. 前記制御手段は、前記目標値に可変ゲインを乗じることで前記制御信号を決定し、前記牽引手段の状態量に応じて前記可変ゲインを更新することを特徴とする請求の範囲第 1 項に記載の牽引位置決め装置。

10 8. 前記制御手段は、前記牽引手段の張力に応じて前記可変ゲインを更新することを特徴とする請求の範囲第 7 項に記載の牽引位置決め装置。

9. 湾曲自在又は回転自在に形成された被牽引機構を有する操作対象を牽引して湾曲又は回転させるワイヤと、

15 前記ワイヤへの駆動力を発生するモータと、

ジョイスティックによって入力された目標値に対応し、且つ前記モータによって前記ワイヤを駆動させる制御をするための制御信号を前記モータに出力する制御装置と、

20 を備え、前記制御装置は、前記ワイヤによる牽引をする前の状態の前記ワイヤの位置を含む所定の範囲で出力する前記制御信号の変化量を前記所定の範囲以外の範囲で出力する前記制御信号の変化量より大きくすることを特徴とする牽引位置決め装置。

1.0. 湾曲自在又は回転自在に形成された被牽引機構を有する操作対象を牽引して湾曲又は回転させる牽引手段と、

25

前記牽引手段への駆動力を発生する駆動手段と、

操作手段によって入力された目標値に対応した操作指令値信号を出力する操作

指令値信号出力手段と、

前記操作指令値信号をフィードフォワード補償値に従って補償してフィードフォワード制御信号を生成するフィードフォワード制御手段と、

- 5 前記フィードフォワード制御信号に基づいて前記駆動手段に対する制御信号を生成し、前記駆動手段に対する駆動を制御する駆動制御手段と、  
を備えたことを特徴とする牽引位置決め装置。

1 1. 前記駆動手段の駆動状態を検出する駆動検出手段と、

- 10 前記フィードフォワード制御信号と前記駆動検出手段が検出した検出信号との偏差を算出する偏差算出手段と、

を備え、前記駆動制御手段は、前記偏差を零に抑制するための演算を行って前記制御信号を生成することを特徴とする請求の範囲第 10 項に記載の牽引位置決め装置。

- 15 1 2. 前記牽引手段として互いに連結されて前記駆動手段の駆動による駆動力を順次伝達する複数の牽引手段と、

前記複数の牽引手段のうち前記駆動手段からの駆動力を他の牽引手段から受ける中継用牽引手段の駆動に伴う状態量を検出して中継状態信号を出力する中継駆動検出手段と、

- 20 前記フィードフォワード制御信号と前記中継駆動検出手段が検出した検出信号との偏差を算出する中継偏差算出手段と、

前記中継偏差算出手段が算出した偏差を零に抑制する中継制御手段と、

を備え、

- 25 前記駆動制御手段は、前記中継制御手段から出力された信号もとに前記制御信号を生成することを特徴とする請求の範囲第 10 項に記載の牽引位置決め装置。

1 3. 前記牽引手段の牽引状態量を検出し、牽引状態量検出信号として出力す

る牽引状態量検出手段と、

前記操作指令値信号と前記牽引状態量検出信号との偏差を算出する偏差算出手段と、

5 前記偏差算出手段が算出した偏差を零に抑制するためのフィードバック制御信号を生成するフィードバック制御手段と、

前記フィードフォワード制御手段が出力したフィードフォワード制御信号を前記フィードバック制御信号で補正した補正信号を生成し、前記駆動制御手段に出力する補正信号生成手段と、

を備えたことを特徴とする請求の範囲第10項に記載の牽引位置決め装置。

10

14. 前記牽引状態検出手段は、

前記牽引手段の牽引に伴う張力を検出する張力検出手段と、

前記操作指令値信号と前記張力検出手段が検出した張力とから前記操作対象の状態を推定する状態推定手段と、

15 前記状態推定手段による推定結果をもとに、前記フィードフォワード制御手段および前記フィードバック制御手段のそれぞれのダイナミクスを変更するダイナミクス変更手段と、

を備えたことを特徴とする請求の範囲第13項に記載の牽引位置決め装置。

20 15. 湾曲自在又は回転自在に形成された被牽引機構を有する操作対象を牽引して湾曲又は回転させる牽引手段と、

前記牽引手段への駆動力を発生する駆動手段と、

操作手段によって入力された目標値に対応した操作指令値信号を出力する操作指令値信号出力手段と、

25 前記操作指令値信号をフィードフォワード補償値に従って補償してフィードフォワード制御信号を生成するフィードフォワード制御手段と、

前記フィードフォワード制御信号に基づいて前記駆動手段に対する制御信号を

生成し、前記駆動手段に対する駆動を制御する駆動制御手段と、

前記駆動制御手段の前段に設けられ、前記牽引手段による牽引をする前の状態の前記牽引手段の位置を含む所定の範囲で出力する前記制御信号の変化量を前記所定の範囲以外の範囲で出力する前記制御信号の変化量より大きくする補正制御手段と、

を備えたことを特徴とする牽引位置決め装置。

16. 前記牽引手段の牽引状態量を検出し、牽引状態量検出信号として出力する牽引状態量検出手段と、

10 前記操作指令値信号と前記牽引状態量検出信号との偏差を算出する偏差算出手段と、

前記偏差算出手段が算出した偏差を零に抑制するためのフィードバック制御信号を生成するフィードバック制御手段と、

前記フィードフォワード制御手段が出力したフィードフォワード制御信号を前記フィードバック制御信号で補正した補正信号を生成し、前記駆動制御手段に出力する補正信号生成手段と、

を備えたことを特徴とする請求の範囲第15項に記載の牽引位置決め装置。

17. 前記牽引状態検出手段は、

20 前記牽引手段の牽引に伴う張力を検出する張力検出手段と、

前記操作指令値信号と前記張力検出手段が検出した張力とから前記操作対象の状態を推定する状態推定手段と、

前記状態推定手段による推定結果をもとに、前記フィードフォワード制御手段および前記フィードバック制御手段のそれぞれのダイナミクスを変更するダイナミクス変更手段と、

25 を備えたことを特徴とする請求の範囲第16項に記載の牽引位置決め装置。

18. 前記補正制御手段は、前記操作対象の前記湾曲又は回転する量为目标値とする前記制御信号を出力することを特徴とする請求の範囲第15項に記載の牽引位置決め装置。
- 5 19. 前記補正制御手段は、前記操作対象の湾曲又は回転する速度为目标値とする前記制御信号を出力することを特徴とする請求の範囲第15項に記載の牽引位置決め装置。
20. 前記補正制御手段は、前記目標値に対して予め具備したパラメータを参照することで前記制御信号を決定することを特徴とする請求の範囲第15項に記載の牽引位置決め装置。
- 10 21. 前記補正制御手段は、前記目標値に対してパラメータを参照することで前記制御信号を決定し、前記牽引手段の状態量に応じて前記パラメータを更新することを特徴とする請求の範囲第15項に記載の牽引位置締め装置。
- 15 22. 前記補正制御手段は、前記牽引手段の張力に応じて前記パラメータを更新することを特徴とする請求の範囲第15項に記載の牽引位置決め装置。
- 20 23. 前記補正制御手段は、前記目標値に可変ゲインを乗じることで前記制御信号を決定し、前記牽引手段の状態量に応じて前記可変ゲインを更新することを特徴とする請求の範囲第15項に記載の牽引位置決め装置。
24. 前記補正制御手段は、前記牽引手段の張力に応じて前記可変ゲインを更新することを特徴とする請求の範囲第23項に記載の牽引位置決め装置。
- 25

## 要 約 書

湾曲自在又は回転自在に形成された被牽引機構を有する操作対象を牽引して湾曲  
又は回転させる牽引手段 4, 5 と、牽引手段 4, 5 への駆動力を発生する駆動手  
5 段 9 と、操作手段 10 によって入力された目標値に対応し、且つ駆動手段 9 によ  
って牽引手段 4, 5 を駆動させる制御をするための制御信号を駆動手段 4, 5 に  
出力する制御手段 11 と、を備え、制御手段 11 は、牽引手段 4, 5 による牽引  
をする前の状態の牽引手段 4, 5 の位置を含む所定の範囲で出力する制御信号の  
変化量を前記所定の範囲以外の範囲で出力する前記制御信号の変化量より大きく  
10 する。